

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**CERTIFIED COPY OF
PRIORITY DOCUMENT**

Aktenzeichen:

102 48 991.2

Anmeldetag:

21. Oktober 2002

Anmelder/Inhaber:

Siemens Aktiengesellschaft, München/DE

Bezeichnung:

Vorrichtung zur Simulation des Steuerungs-
und Maschinenverhaltens von Werkzeug- oder
Produktionsmaschinen

IPC:

G 05 B 17/02

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 29. Oktober 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Beschreibung

Vorrichtung zur Simulation des Steuerungs- und Maschinenverhaltens von Werkzeug- oder Produktionsmaschinen

5

Die Erfindung bezieht sich auf eine Vorrichtung zur Simulation des Steuerungs- und Maschinenverhaltens von Werkzeug- oder Produktionsmaschinen, wobei aus Achsensollwerten mit Hilfe von mathematischen Modellen der Antriebe und der Mechanik der Maschine, Achsenistwerte berechenbar sind.

10

Mit wachsenden Qualitäts- und Wirtschaftlichkeitsanforderungen im Anwendungsbereich der Werkzeug- oder Produktionsmaschinen, wobei unter Werkzeug- oder Produktionsmaschinen auch Roboter zu verstehen sind, nimmt die Komplexität dieser Maschinen ständig zu. Neuartige Maschinenkinematiken und komplexe mechatronische Funktionen benötigen zunehmend leistungsfähigere Funktionen für Mechanik, Antriebe und Steuerung. Diese sind jedoch nicht immer einfach zu entwerfen und auszulegen. Hersteller sehen deshalb zunehmend die dringende Notwendigkeit bereits im Zuge der Produktentwicklung die Produktivität einer Maschine, das exakte Verhalten von Steuerungssignalen, Sensorsignalen und einzelner Achsenbewegungen bis hin zur Kollisionskontrolle, simulationsgestützt zu bewerten und zu optimieren. Die Simulation muss hierbei sowohl das mechanische Verhalten der Maschine, das Verhalten der Antriebe als auch die Funktion der Steuerung nachbilden. Nur so kann das Zeitverhalten der Mechanik, der Antriebe und der numerischen Steuerung, z.B. für die Simulation von NC-Bearbeitung oder Werkzeugwechsel, exakt modelliert werden.

15

20

25

30

Für die Modellierung des mechanischen Verhaltens von Werkzeugmaschinen werden derzeit Modelle verschiedenen Detaillierungsgrades eingesetzt, z.B.

35

- geometrische Kinematikmodelle (berücksichtigt wird nur die Geometrie ohne Massen und Elastizitäten der Maschinenelemente),

- Ersatzmodelle für die Ablaufsimulation, z.B. Petrinetze, vernetzte Funktionsbausteine,
- starre Mehrkörpersysteme (flexible Verbindungselemente),
- Mehrmassenmodelle (Massen und Elastizitäten im Antriebs-
5 strang werden berücksichtigt),
- flexible Mehrkörpersysteme und
- FE-Modelle (vollständige Diskretisierung der Mechanik).

10 Die Kombination dieser Maschinenmodelle mit der Funktionalität der Steuerung und Antriebstechnik war bisher auf einzelne (z.B. nur lagegeregelte) Achstypen beschränkt.

● In der Zeitschrift wt Werkstattstechnik online, „Virtuelle Werkzeugmaschinen für die Simulation“, Jahrgang 92 (2002),
15 Seite 205 bis 209 wird eine Arbeit veröffentlicht, die sich mit der Koppelung von Steuerungstechnik und Simulationssystem für verschiedene Achsen befasst. Dadurch dass in der Arbeit die Modellierung der Abtriebstechnik vernachlässigt wird und Sollwerte mit Istwerten implizit gleich gesetzt werden, ist
20 eine realitätsnahe Abbildung des kinematischen Bewegungsverhaltens der Maschine nicht möglich.

In der Zeitschrift wt Werkstattstechnik online, "Echtzeitfähige Maschinenmodelle", Jahrgang 92 (2002), H.5, Seite 187
25 bis 193 wird in diesem Zusammenhang ein Antriebs- und Regelmodell sowie ein statisches Gewichtskraftmodell und ein dynamisches Mehrkörpermodell beschrieben, das gattungsbildend für die vorliegende Erfindung ist.

30 Die Steuerung kann durch eine Softwaresimulation in das Modell integriert werden oder es wird die original Steuerungshardware inklusive Originalsoftware verwendet. Eine numerische Steuerung besteht dabei im wesentlichen aus einem sogenannten Numerical Control Kernel (NCK), welcher NC-geführte,
35 geregelte Achsen im Interpolationsverbund (z.B. das Abfahren eines Kreises) steuert und einer Programmable Logic Control (PLC), welche üblicherweise ungeregelte Achsen, z.B. für ei-

nen Werkzeugwechsler, steuert. In einigen Anwendungsfällen steuert die PLC jedoch auch geregelte Achsen. Die Steuerung integriert somit gleichfalls geregelte Achsen im Interpolationsverbund (z.B. Kurvenschreiben) und Hilfs-/Zustellachsen, die geregelt oder ungeregelt verfahren werden.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen möglichst echtzeitfähigen Simulator zu schaffen, der Massen- und Geometriezustände von mechanischen Elementen der Maschine und der jeweiligen Antriebssysteme für beliebige geregelte und ungeregelte Achsen simuliert, wobei die Steuerung mit allen Bestandteilen im Simulator integriert ist.

Diese Aufgabe wird für eine Vorrichtung der eingangs genannten Art dadurch gelöst, dass Achsensollwerte von einer numerischen Steuerung an einen nachgeschalteten Rechner ausgebar sind, dass die Achsenistwerte vom nachgeschalteten Rechner berechenbar und an ein Maschinenmodell weiterleitbar sind, dass von diesem erzeugte Zustandssignale an die numerische Steuerung rückleitbar sind und dass geregelte Achsen und ungeregelte Achsen gleichzeitig simulierbar sind.

Der entscheidende Vorteil der erfindungsgemäßen Vorrichtung besteht in der Kombination der vollständigen Steuerung (z.B. PLC und NCK), der Antriebstechnik und dem Maschinenmodell einschließlich Sensorik und deren Übertragung auf beliebig geregelte und ungeregelte Achsen. Nur diese Kombination ermöglicht im Maschinenmodell über die Antriebstechnik mit simulierten Ist-Werten für Achsen zu arbeiten und somit ein an die Realität gut angenähertes Maschinenverhalten zu erhalten. Erstmals wird die Kombination Steuerungstechnik, Antriebstechnik und Maschinenmodell zugleich für beliebig geregelte (d.h. lage-, drehzahl-, und/oder momentgeregelt) und ungeregelte Achsen angewendet, deren Sollwerte für numerisch gesteuerte Maschinen durch die PLC und NCK gesteuert werden. Verschiedene gesteuerte Maschinenkomponenten werden somit in einem einheitlichen Modell durch die Modellierung der An-

triebstechnik zusammengeführt. Substantielle Maschineneigenschaften, wie z.B. die Massen für die Abbildung realer Beschleunigungen und Geschwindigkeiten fließen in die Regelkreise des Antriebsmodells ein.

5

Eine erste vorteilhafte Ausbildung der Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, dass die numerische Steuerung auf einem gesonderten Rechner oder dem nachgeschalteten Rechner simulierbar bzw. emulierbar ist. Dadurch dass im Simulator nicht die original numerische Steuerung verwendet wird, kann die erfindungsgemäße Vorrichtung trotz der oft unterschiedlichen, maschinenbezogenen Steuerungshardware der Maschine mit einer einheitlichen Hardware aufgebaut werden.

10

15

Eine weitere vorteilhafte Ausbildung der Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, dass die Simulation in Echtzeit durchführbar ist. Die Erfinder haben hier erkannt, dass eine Simulation in Echtzeit dem Betrachter ein zeitlich korrektes Abbild des Fertigungsprozesses liefert.

20

Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, dass die Zykluszeit der numerischen Steuerung erhöhbar ist. Falls die der numerischen Steuerung hinterhergeschalteten Simulationsrechner eine für eine Echtzeitsimulation nicht ausreichende Rechenleistung besitzen, erweist es sich als vorteilhaft, die Zykluszeit der numerischen Steuerung zu erhöhen und somit die numerische Steuerung quasi zu verlangsamen, um eine einheitliche Skalierung der Zeit zu erzwingen.

25

30

Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, dass das Maschinenmodell auf dem nachgeschalteten Rechner berechenbar ist, um eine besonders kompakte Bauweise der Vorrichtung zu ermöglichen.

35

Eine weitere vorteilhafte Ausbildung der Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, dass das Maschinenmodell auf einer vom

nachgeschalteten Rechner unabhängigen Recheneinheit berechenbar ist. Um eine Echtzeitfähigkeit der Simulation sicherzustellen ist es bei ungenügender Rechenleistung des nachgeschalteten Rechners sinnvoll, die Berechnung des Maschinenmodells auf einer unabhängigen Recheneinheit durchführen zu lassen.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in der Zeichnung dargestellt und im Folgenden näher erläutert. Dabei zeigen:

FIG 1 ein Blockschaltbild der erfindungsgemäßen Vorrichtung,
FIG 2 ein detailliertes Modell einer geregelten Achse (NC-Achsenmodell)
FIG 3 ein detailliertes einer ungeregelten Achse (PLC-Achsenmodell).

In Darstellung gemäß FIG 1 ist eine numerische Steuerung 1 gezeigt, welche für jede NC-Achse einen NC-Achsensollwert $xs1$ an ein zugehöriges NC-Achsenmodell 4 und für jede PLC-Achse einen binären PLC-Achsensollwert $xs2$ an ein zugehöriges PLC-Achsenmodell 5 ausgibt. Aus Übersichtlichkeitsgründen ist dabei nur ein NC-Achsenmodell 4 und nur ein PLC-Achsenmodell 5 für eine beispielhaft angenommene zweiachsige Maschine dargestellt.

Die numerische Berechnung des NC-Achsenmodells 4 und des PLC-Achsenmodells 5 geschieht auf einem der numerischen Steuerung 1 nachgeschaltetem Rechner 10. Das NC-Achsenmodell 4 gibt als Ausgangssignal einen simulierten NC-Achsenistwert $xi1$ für eine Achse an ein Maschinenmodell 8, was in dem Ausführungsbeispiel in Form eines geometrischen Kinematikmodells vorliegt, aus. Das PLC-Achsenmodell 5 gibt als Ausgangssignal einen simulierten PLC-Achsenistwert $xi2$ an das Maschinenmodell 8 aus. In diesem wird mit Hilfe des geometrischen Kinematikmodells die Maschine insbesondere deren NC- und PLC-Achsen bzw. gegebenenfalls der gesamte Fertigungsprozess modelliert. Im geometrischen Kinematikmodell ist eine virtuelle Sensorik integ-

riert. So werden z.B. virtuelle Abstandssensoren und virtuelle Messtaster in den Komponentenaufbau des geometrischen Kinematikmodells integriert. Ihr Schalten entspricht z.B. einer Kollision eines Teils einer Achse mit einem Taster. Vom geometrischen Kinematikmodell solchermaßen erzeugte Zustandssignale von denen der Übersichtlichkeit halber nur ein Zustandssignal 9 gezeichnet ist, werden zur numerischen Steuerung 1 zurückgekoppelt. In dieser werden mit Hilfe eines Steuerprogramms und den in der numerischen Steuerung hinterlegten Parametersätzen sowie den Zustandssignalen vom Maschinenmodell 8, Achsensollwerte sogenannte NC-Achsensollwerte sowie Programmable-Logic-Control-Achsensollwerte, d.h. sogenannte PLC-Achsensollwerte berechnet und anschließend der entsprechende NC/PLC-Achsensollwert an das NC-Achsenmodell 4 bzw. das PLC-Achsenmodell 5 ausgegeben. PLC-Achsensollwerte werden z.B. für das Kreisfahren von Werkzeugen benötigt während PLC-Achsensollwerte z.B. in Form von binären Signalen vorliegen können, wie sie z.B. für einen Werkzeugwechsel oder das Fahren entlang einer Achse ohne Interpolation benötigt werden.

Das NC-Achsenmodell 4 bzw. das PLC-Achsenmodell 5 berechnet für jede Achse aus dem jeweiligen NC-Achsensollwert $xs1$ bzw. dem jeweiligen PLC-Achsensollwert $xs2$ einen NC-Achsenistwert xil bzw. einen PLC-Achsenistwerte $xi2$. Im NC-Achsenmodell 4 und dem PLC-Achsenmodell 5 werden bereits wesentliche mechanische Eigenschaften der Elemente der Maschine, z.B. die Massen der mechanischen Elemente sowie die Eigenschaften der Antriebssysteme in einem individuell für die jeweilige Achse angepassten Modell nachgebildet. Obwohl somit im hintergeschalteten geometrischen Kinematikmodell nur eine idealisierte Maschine nachgebildet bzw. visualisiert wird, d.h. z.B. ohne Massen, verfahren die Achsen mit annähernd realer Beschleunigung bzw. physikalisch richtigem Verhalten aufgrund des vorgeschalteten NC-Achsenmodells 4 bzw. PLC-Achsenmodells 5.

In FIG 2 ist in Form eines Funktionsschaltbildes, das NC-Achsenmodells 4 detailliert dargestellt. Dabei werden die mechanischen Eigenschaften der Achsen und Antriebe in Form von Regelkreisen nachgebildet. Der von der numerischen Steuerung 1 kommende, interpolierte NC-Achsensollwert $xs1$ wird mit einem am Ausgang des NC-Achsenmodells 4 erzeugten NC-Achsenistwert $xi1$ per Differenzbildung verschalten. Das Differenzsignal wird auf ein Proportionalglied $P1$ gegeben, das ausgangsseitig einen Drehzahlsollwert $ns1$ berechnet. Anschließend wird von diesem ein Drehzahlistwert $ni1$ subtrahiert und das so erzeugte neue Differenzsignal einem Proportionalintegralglied $PI1$ zugeführt. Am Ausgang des Proportionalintegralgliedes $PI1$ ergibt sich somit ein Momentsollwert $ms1$. Aus diesem wird mit Hilfe eines Verzögerungsgliedes $V1$ ein Momentistwert $mi1$ berechnet. Aus diesem wird anschließend durch die Integralglieder $I1$ und $I2$ nach der ersten Integration der Drehzahlistwert $ni1$ und nach der zweiten Integration der NC-Achsenistwert $xi1$ der NC-Achse berechnet, der anschließend dem Maschinenmodell 8 als Eingangsgröße zugeführt wird.

In FIG 3 ist in Form eines Funktionsschaltbildes das PLC-Achsenmodell 5 detailliert dargestellt. Ein von der numerischen Steuer 1 erzeugter binärer PLC-Achsensollwert $xs2$ wird einem Schaltglied $S1$ zugeführt. Wenn der binäre PLC-Achsensollwert $xs2$ von logisch "0" auf logisch "1" wechselt, wird am Ausgang des Schaltgliedes $S1$ ein Drehzahlsollwert $ns2$ ausgegeben. Von diesem wird ein Drehzahlistwert $ni2$ subtrahiert und die Differenz einem Proportionalintegralglied $PI2$ zugeführt. Dieses gibt ausgangsseitig einen Momentsollwert $ms2$ aus. Aus diesem wird mit Hilfe eines Verzögerungsgliedes $V2$ ein Momentistwert $mi2$ berechnet. Durch Integrieren mittels der Integralglieder $I3$ und $I4$ wird aus dem Momentistwert $mi2$ zunächst nach der ersten Integration der Drehzahlistwert $ni2$ und mittels einer nachfolgenden zweiten Integration der PLC-Achsenistwert $xi2$ der PLC-Achse berechnet und anschließend dem Maschinenmodell 8 als Eingangsgröße zugeführt.

Die in FIG 2 und FIG 3 dargestellten Regelkreise generieren in Bezug auf Geschwindigkeit und Beschleunigung realitätsnahe Istwerte für die Achspositionen. Eventuell noch notwendige multiplikative Glieder zur Anpassung sind in den in FIG 2 und FIG 3 gezeigten Modellen der Übersichtlichkeit halber nicht dargestellt. Die Bestimmung der in den Regelkreisen notwendigen Integrierzeitkonstanten, Proportionalitätsfaktoren bzw. Anpasskonstanten können entweder theoretisch oder was in der Regel der einfachere und praktikablere Weg ist, durch Messung ermittelt werden. Es sei an dieser Stelle noch einmal ausdrücklich darauf hingewiesen, dass es sich bei den beiden gezeigten Regelkreisen um anschauliche Ausführungsformen handelt. In der hierzu gängigen Fachliteratur kann der Fachmann auch wesentlich komplexere Modelle entnehmen und so die Simulation hinsichtlich der Realitätstreue verbessern.

Die NC/PLC-Achsenmodelle 4 und 5 und das geometrische Kinetikmodell sind so effizient wie möglich zu gestalten, idealerweise echtzeitfähig, damit keine Asynchronität zwischen der numerischen Steuerung 1, den NC/PLC-Achsenmodellen 4 und 5 und dem Maschinenmodell 8 entsteht. Bei Echtzeitfähigkeit benötigen die NC/PLC Achsenmodelle 4 und 5 und das Maschinenmodell nie mehr Zeit als einen Interpolationszyklus (IPO-Zyklus) der NCK bzw. einen Zyklus der PLC oder gegebenenfalls einen unteretzten Zyklus. Unter echtzeitnahem Verhalten soll hier aber auch verstanden werden, dass eine Synchronisation zwischen numerischer Steuerung 1, den NC/PLC-Achsenmodellen 4 und 5 und dem Maschinenmodell 8 durch substantielle Erhöhung der Zykluszeit der Steuerung 1 erreicht wird und somit die Synchronisation durch eine einheitliche Skalierung der Zeit erzwungen wird.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Simulation des Steuerungs- und Maschinenverhaltens von Werkzeug- oder Produktionsmaschinen, wobei
5 aus Achsensollwerten (x_{s1}, x_{s2}) mit Hilfe von mathematischen Modellen der Antriebe und der Mechanik der Maschine, Achsenistwerte (x_{i1}, x_{i2}) berechenbar sind, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass Achsensollwerte (x_{s1}, x_{s2}) von einer numerischen Steuerung (1) an einen nachgeschalteten Rechner (10) ausgebar sind, dass die Achsenistwerte (x_{i1}, x_{i2}) vom nachgeschalteten Rechner (10) berechenbar und an ein Maschinenmodell (8) weiterleitbar sind, dass von diesem erzeugte Zustandssignale (9) an die numerische Steuerung (1) rückleitbar sind und dass geregelte Achsen und unregelte Achsen gleichzeitig simulierbar sind.
15

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass die numerische Steuerung (1) auf einem gesonderten Rechner oder dem nachgeschalteten Rechner (10) simulierbar bzw. emulierbar ist.
20

3. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass die Simulation in Echtzeit durchführbar ist.
25

4. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass die Zykluszeit der numerischen Steuerung (1) erhöhbar ist.

5. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass das Maschinenmodell (8) auf dem nachgeschalteten Rechner (10) berechenbar ist.
30

10

6. Vorrichtung nach Anspruch 1, 2, 3 oder 4, d a d u r c h
g e k e n n z e i c h n e t , dass das Maschinenmodell (8) auf
einer vom nachgeschalteten Rechner (10) unabhängigen Rechen-
einheit berechenbar ist.

Zusammenfassung

Vorrichtung zur Simulation des Steuerungs- und Maschinenverhaltens von Werkzeug- oder Produktionsmaschinen

5

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Simulation des Steuerungs- und Maschinenverhaltens von Werkzeug- oder Produktionsmaschinen, wobei aus Achsensollwerten (x_{s1}, x_{s2}) mit Hilfe von mathematischen Modellen der Antriebe und der Mechanik der Maschine, Achsenistwerte (x_{i1}, x_{i2}) berechenbar sind, wobei Achsensollwerte (x_{s1}, x_{s2}) von einer numerischen Steuerung (1) an einen nachgeschalteten Rechner (10) ausgebar sind, wobei die Achsenistwerte (x_{i1}, x_{i2}) vom nachgeschalteten Rechner (10) berechenbar und an ein Maschinenmodell (8) weiterleitbar sind, wobei von diesem erzeugte Zustandssignale (9) an die numerische Steuerung (1) rückleitbar sind und geregelte Achsen und ungeregelte Achsen gleichzeitig simulierbar sind. Die Vorrichtung ermöglicht somit eine einfache und kostengünstige Möglichkeit zur effizienten, realitätsnahen Simulation des Steuerungs- und Maschinenverhaltens von Werkzeug- oder Produktionsmaschinen.

FIG 1

FIG 1

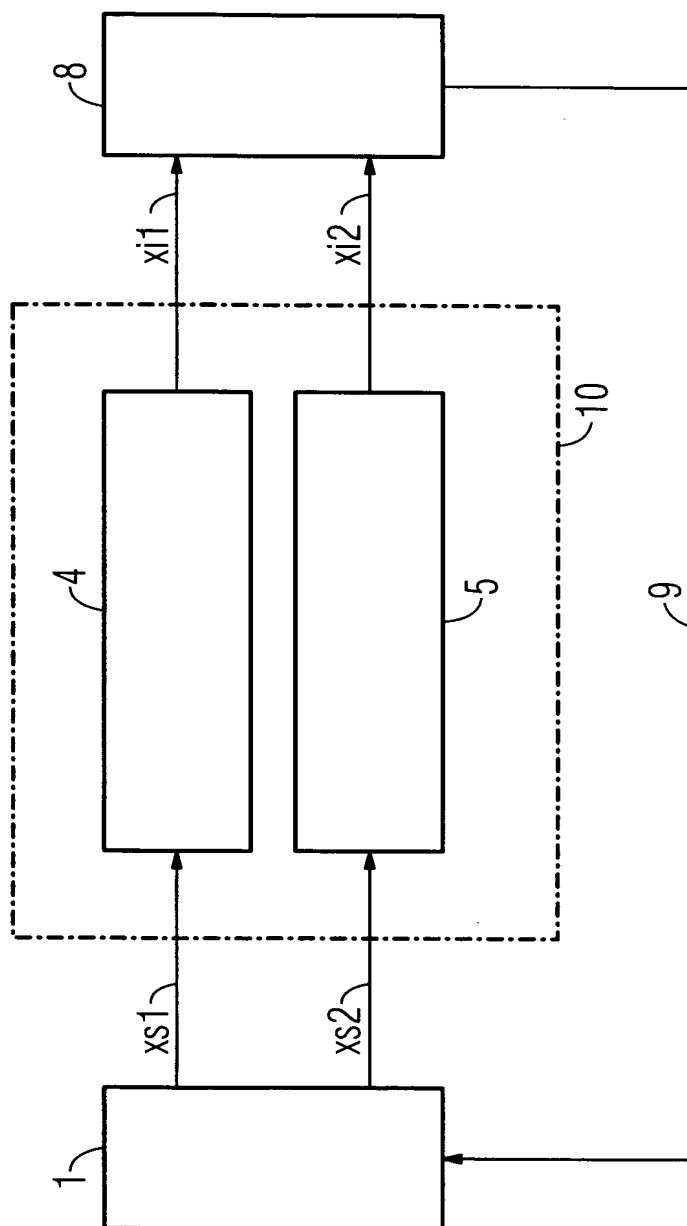


FIG 2

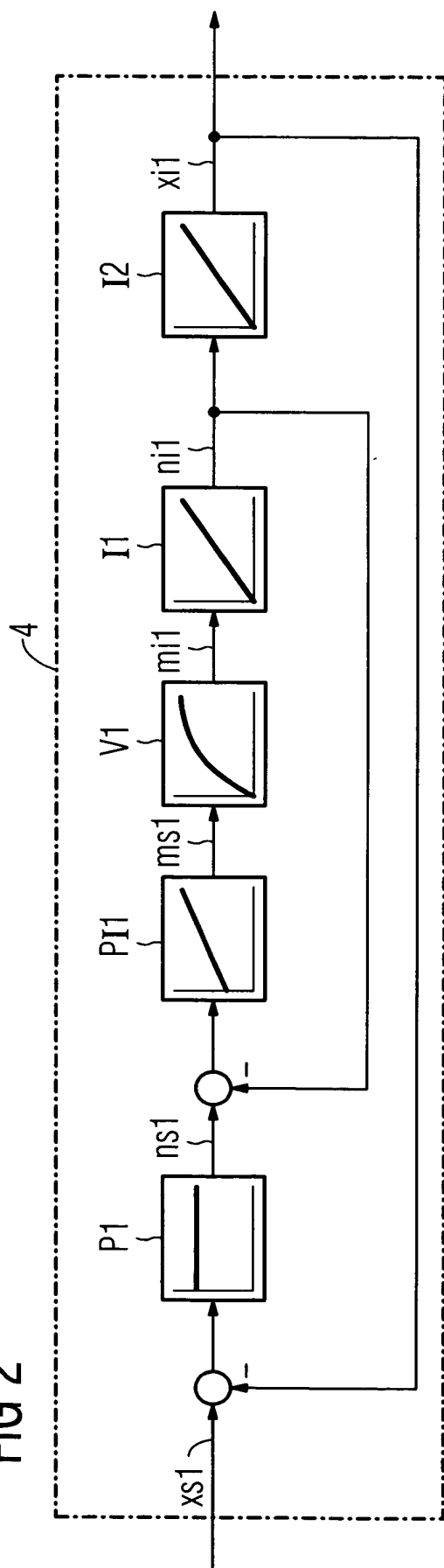


FIG 3

